

تأثیر فعالیت‌های معدنی بر ساختار و کارکرد بوم‌سازگان‌های جنگلی و مرتعی

یوسف تقی‌ملایی*

* محقق، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات و آموزش ترویج کشاورزی، شیراز، ایران. taghimollaei@yahoo.com

چکیده

نیروی محرکه اصلی در تشدید عملیات استخراج مواد معدنی، کاهش ذخایر معدنی در کنار افزایش مصرف است که خود عاملی برای ورود به فازهای عمیق‌تر یا نواحی دست‌نخورده محسوب می‌شود. فعالیت‌های استخراج مواد خام به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی جنگل‌زدایی جهانی، منجر به تغییر کاربری اراضی و تسریع در تجزیه اکوسیستم می‌شود. این فرآیند، شامل اثرات مستقیم (حذف پوشش گیاهی) و غیرمستقیم (توسعه زیرساخت‌ها)، پارامترهای هیدرولوژیکی منطقه را به‌شدت دگرگون می‌سازد. از منظر اکولوژیکی، این تخریب زیستگاه‌ها به‌طور خاص بر بوم‌سازگان‌های دارای تنوع زیستی بالا فشار وارد می‌کند؛ به‌عنوان مثال در ایران، این تخریب زیستگاه‌ها، ریسک انقراض را برای گونه‌های بومی افزایش می‌دهد. علاوه بر این، تغییرات زمین‌ساختی، تعارضات اجتماعی-اکولوژیکی چندوجهی را در جوامع محلی تشدید می‌کند. این پژوهش با هدف ارزیابی و مستندسازی جامع ابعاد گسترده اثرات مخرب فعالیت‌های معدنی بر ساختار فیزیکی، تنوع زیستی و کارکردهای بوم‌سازگانی در اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی انجام شده است. این مطالعه به‌طور خاص بر شکاف داده‌های موجود در خصوص عوامل تخریب‌گر ثانویه مانند توسعه زیرساخت‌ها متمرکز است. نوآوری این کار در ارائه یک چارچوب یکپارچه است که اثرات مستقیم (مانند حفاری و آلودگی شیمیایی) و اثرات غیرمستقیم (مانند تغییر الگوهای هیدرولوژیکی و نقش معدن در تغییرات اقلیمی) را به هم پیوند می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که معدن‌کاری منجر به کاهش شدید تنوع زیستی، افزایش فرسایش و ایجاد ناامنی‌های اجتماعی و غذایی می‌شود. تأکید ویژه‌ای بر اهمیت تضمین رضایت آزادانه، قبلی و آگاهانه برای جوامع بومی به‌عنوان یک ضرورت اخلاقی و حقوقی برای کاهش آسیب‌های اجتماعی-فرهنگی صورت گرفته است.

واژگان کلیدی: اثرات، آلودگی، جنگل‌ها، مراتع، معدن، منابع آبی.

بیان مسئله

افزایش مستمر جهانی مصرف مواد معدنی و کاهش ذخایر قابل دسترس، محرک اصلی هجوم فعالیت‌های استخراجی در سراسر جهان، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه متکی بر صادرات کالا شده است. با وجود پتانسیل این پروژه‌ها برای ایجاد اشتغال و جذب سرمایه‌گذاری‌های ملی و بین‌المللی، شدت عملیات معدن‌کاری منجر به بروز بحران‌های زیست‌محیطی گسترده و چندوجهی شده است. این بحران‌ها شامل تخریب محیط زیست فیزیکی؛ اختلال در سامانه‌های طبیعی و آلودگی‌های چندگانه است. لذا، مسئله اساسی این است که چگونه می‌توان توسعه اقتصادی حاصل از استخراج مواد معدنی را در بستری که نیازمند حفاظت از منابع زیست‌محیطی، حفظ تنوع زیستی و مدیریت پایدار آب‌و‌خاک است، محقق ساخت؟ از سوی دیگر، پروژه‌های معدنی می‌توانند شغل‌ها و بازیگران ملی و بین‌المللی جدیدی را به یک منطقه بیاورند (Hilson & McQuilken, 2020). معدن‌کاری در مقیاس بزرگ و کوچک هر دو باعث اثرات زیست‌محیطی می‌شوند. در کشورهای درحال توسعه و نوظهور، استخراج مواد معدنی مستقیماً محیط زیست را تخریب می‌کند؛ این تخریب شامل جنگل‌زدایی، آلودگی هم‌زمان آب، خاک و هوا و نابودی منابع تنوع زیستی است (شکل ۱).



شکل ۱- پیامدهای زیست‌محیطی و انسانی معدن‌کاری - معدن شن و ماسه، استان مازندران

معادن سطحی که نیاز به استفاده از مواد منفجره و ماشین‌آلات سنگین برای قرار دادن مواد در نزدیکی سطح زمین دارند، باعث ایجاد حفره‌های عظیم به اندازه دره در زمین شده که نهایتاً منجر به فرسایش و تخریب خاک در مناطق اطراف می‌شوند. معادن سطحی مقدار زیادی مواد زائد ایجاد می‌کنند. معادن مضر را در هوا و آب آزاد می‌کنند و در صورت استنشاق یا مصرف می‌توانند مشکلات جدی برای سلامتی ایجاد کنند. معادن همچنین آب اسیدی آزاد می‌کنند که می‌تواند حیات دریایی را از بین ببرد و آب شیرین را برای نوشیدن نامناسب کند. استخراج زیرزمینی، مواد زائد کمتری نسبت به معادن سطحی تولید می‌کند، اما برای کارگران معدن خطرناک است.

فعالیت‌های معدنی در ایران طی دهه‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای در مناطق طبیعی از جمله جنگل‌ها و مراتع، گسترش یافته است. استخراج و فرآوری مواد معدنی معمولاً با تخریب خاک، نابودی پوشش گیاهی، آلودگی منابع آب و از بین رفتن زیستگاه‌های طبیعی همراه است.

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که معادن روباز به دلیل برداشت سطحی خاک و تغییرات مورفولوژیکی زمین، منجر به فرسایش شدید، کاهش حاصلخیزی خاک و تخریب بافت‌های اکولوژیکی می‌شوند (Xiang et al., 2025). همچنین، عملیات پسماند معدنی مانند باطله‌های فلزی و زغال‌سنگ، اغلب موجب آلودگی منابع آب زیرزمینی و جاری گردیده و سلامت اکوسیستم‌های مجاور را تهدید می‌کند (García & Rosique, 2025).

در جنگل‌های زاگرس، پژوهش‌هایی نشان داده‌اند که تخریب پوشش گیاهی ناشی از معدن‌کاری باعث کاهش تنوع گونه‌ای و تغییر ترکیب فلور محلی شده است (تقی‌ملایی، ۱۴۰۴). در مراتع شمال شرقی کشور نیز عملیات اکتشاف و احداث جاده‌های معدنی به چرای بی‌رویه و از بین رفتن پوشش گیاهی مرتعی دامن زده است (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۷). مهم‌ترین قوت معدن‌کاری در منطقه خطیر مازندران، اشتغال مستقیم و غیرمستقیم در ارتباط با معادن شن و ماسه است (مرادی و همکاران، ۱۴۰۲). برخی مطالعات راهکارهایی چون احیای زیست‌محیطی پس از بهره‌برداری، کنترل پساب‌ها و کاشت مجدد گونه‌های بومی را پیشنهاد کرده‌اند (UNEP, 2020).

دستاوردها

مراحل و انواع مختلف معدن‌کاری اثرات متفاوتی دارند.

شدت اثرات زیست‌محیطی معدن‌کاری در مراحل مختلف عملیاتی (به‌عنوان مثال، مراحل قبل از تأسیس و اکتشاف) متفاوت است، به طوری که مراحل اولیه به‌ندرت باعث اثرات عمده می‌شوند (شکل ۲).



شکل ۲- مراحل مختلف استخراج معدن

مرحله پایانی در چرخه عمر یک معدن، یعنی تعطیلی (بستن) معدن، از منظر تاریخی اغلب جنبه‌ای مغفول و نادیده گرفته‌شده در فرآیند برنامه‌ریزی می‌باشد. خطرات اصلی معادن بسته‌شده مربوط به مدیریت ضعیف آب و رواناب اسیدی، به‌ویژه در مناطق معدنی سولفیدی است (Morrill et al., 2020).

تأثیرات فعالیت‌های معدنی بر جنگل‌ها

چه معدن‌کاری صنعتی در مقیاس بزرگ و چه فعالیت‌های معدنی دستی و کوچک^۱، هر دو به شیوه‌هایی متفاوت بر محیط زیست تأثیر می‌گذارند. بر اساسی مطالعه Levin و همکاران (۲۰۲۰)، استخراج مواد خام (به استثنای زغال‌سنگ) موجب هفت

^۱ معدن‌کاری دستی و کوچک (Artisanal and Small-Scale Mining - ASM) به فعالیت‌های استخراج مواد معدنی گفته می‌شود که در مقیاس کوچک، با شدت نیروی کار بالا و با استفاده از تکنولوژی‌های ساده و ابتدایی انجام می‌شود. این نوع فعالیت‌ها معمولاً توسط افراد محلی، جوامع روستایی یا کارآفرینان منفرد انجام می‌شود و هدف اصلی آن اغلب تأمین معیشت روزمره است، نه تولید انبوه صنعتی.

درصد جنگل‌زدایی در کشورهای درحال توسعه و اقتصادهای نوظهور می‌شود و آن را به چهارمین عامل بزرگ جنگل‌زدایی تبدیل می‌کند. فعالیت‌های معدنی همچنین ممکن است از طریق قطعه‌قطعه شدن، تخریب و نابودی زیستگاه‌ها منجر به از دست رفتن تنوع زیستی شوند. ساخت زیرساخت‌های مرتبط با معدن‌کاری مانند جاده‌ها یا راه‌آهن نیز دسترسی به مناطقی را که قبلاً دست‌نخورده بوده‌اند، فراهم می‌کند و خطرات زیست‌محیطی را افزایش می‌دهد.

سایر خطرات زیست‌محیطی مرتبط با فعالیت‌های معدنی مربوط به آب است. صنعت معدن و فلزات برای استخراج و فرآوری سنگ معدن به مقادیر زیادی آب نیاز دارد. تشکیل زهکشی اسیدی معدن و استفاده از مواد شیمیایی (به‌عنوان مثال، سیانید در شستشوی طلا در معدن‌کاری در مقیاس بزرگ و جیوه در ترکیب طلا در معدن‌کاری در مقیاس کوچک) اغلب تهدیدهایی را برای محیط‌زیست اطراف سایت‌های معدنی ایجاد می‌کند. نشت و ریزش مواد از حوضچه‌های باطله و بسته شدن نامناسب معادن نیز از خطرات موجود برای اکوسیستم‌ها و جمعیت‌های اطراف است.

درک بهتر عوامل جنگل‌زدایی و تخریب جنگل‌ها برای حفاظت از جنگل‌ها بسیار مهم است. تصور می‌شود که حدود ۷۳ درصد از جنگل‌زدایی ناشی از کشاورزی تجاری و کشاورزی معیشتی، ۱۰ درصد ناشی از گسترش شهری و زیرساخت‌ها و ۷ درصد ناشی از معدن‌کاری است (Hosonuma et al., 2012). تحقیقات بر عوامل اصلی جنگل‌زدایی، به‌ویژه تولید کالاهای کشاورزی تمرکز دارند، درحالی‌که به سایر عوامل جنگل‌زدایی مانند معدن‌کاری و زیرساخت‌ها کمتر توجه شده است.

در سال‌های اخیر، تخریب جنگل‌ها و مراتع شمال ایران بر اثر فعالیت‌های معدنی و صنعتی به یکی از نگرانی‌های جدی محیط‌زیستی تبدیل شده است. برای نمونه، کارخانه سیمان دیلمان در گیلان با برداشت سنگ آهک از دل جنگل‌های اطراف، سبب نابودی پوشش گیاهی و از بین رفتن زیستگاه گونه‌های جانوری شده است. در منطقه کلاردشت و نوشهر مازندران نیز برداشت خاک و شن و ماسه از دامنه کوه‌ها و بستر رودخانه‌ها موجب فرسایش خاک، خشک شدن چشمه‌ها و تخریب زمین‌های کشاورزی شده است. این فعالیت‌ها که اغلب بدون ارزیابی دقیق زیست‌محیطی انجام می‌شوند، پیامدهایی مانند رانش زمین، افزایش گردوغبار، نابودی منابع آب و کاهش حاصلخیزی خاک را در پی دارند. بسیاری از مراتع نیز به دلیل تردد ماشین‌آلات سنگین و انباشت نخاله‌های معدنی از چرخه تولید علوفه خارج شده‌اند. در مجموع، گسترش معادن و کارخانه‌های سیمان در شمال کشور، بزرگ‌ترین تهدید برای پایداری جنگل‌ها و مراتع بکر ایران به‌شمار می‌رود (شکل ۳).



شکل ۳- معدن جهت کارخانه سیمان، استان گیلان

تأثیرات پروژه‌های معدنی بر اکوسیستم‌های محلی و تغییرات کاربری زمین

یکی دیگر از مشکلات کلیدی زیست‌محیطی مرتبط با پروژه‌های معدنی، تغییر کاربری زمین است که نه تنها از حفاری و کاوش معادن روباز، بلکه از تغییراتی که در نتیجه توسعه زیرساخت‌های اطراف رخ می‌دهد، ناشی می‌شود. زیرساخت‌ها می‌تواند شامل اردوگاه‌هایی برای تأمین محل اقامت معدنچیان و همچنین جاده‌های مورد نیاز برای حمل‌ونقل مواد استخراج شده باشد. تغییرات در زمین، توپوگرافی و چشم‌انداز می‌تواند به صورت موارد زیر باشد:

- سنگ و باطله‌های زیاده
- تغییرات زیستگاه، تکه‌تکه شدن زیستگاه و از بین رفتن زیستگاه
- از بین رفتن تنوع زیستی و پوشش گیاهی، از جمله جنگل‌زدایی
- فرسایش
- تغییر پروفیل‌های خاک و خطرات آلودگی

فعالیت‌های معدنی معمولاً برای فراهم شدن شرایط لازم، نیاز به پاک‌سازی مناطق وسیعی از زمین دارند. استخراج سطحی، زیرزمینی، درجا یا پلاستی، به معنای نابودی بسیاری از زیستگاه‌های طبیعی حیات وحش، مانند جنگل‌ها، تالاب‌ها و بسیاری از اکوسیستم‌های دیگر است (شکل ۴).



شکل ۴- تأثیرات بالقوه معدن‌کاری بر زمین - معدن سنگ، استان فارس

حیات وحش ممکن است به دلیل بی‌ثباتی، شروع به مهاجرت از این اکوسیستم‌ها کند، به این معنی که آنها به اکوسیستم دیگری نقل مکان می‌کنند و زنجیره غذایی دیگری از خود را مختل می‌کنند.

پیام کلیدی: محدود کردن تخریب مستقیم ناشی از معادن کافی نیست، بلکه باید تأثیرات غیرمستقیم مانند توسعه زیرساخت‌ها (جاده و راه‌آهن) و افزایش فعالیت‌های اقتصادی مرتبط با آن را نیز مدیریت کنیم.

تأثیرات معدن‌کاری بر هیدرولوژی و کیفیت منابع آب

تغییرات در کاربری زمین از طریق تغییر در نرخ جذب، مقدار رواناب و تغییر جهت جریان، بر هیدرولوژی منطقه تأثیر می‌گذارد. حذف پوشش گیاهی می‌تواند رواناب سطحی و فرسایش را افزایش دهد که در نتیجه مقدار مواد جامدی را که به آبراه‌ها حمل می‌شوند، افزایش می‌دهد. این امر ممکن است باعث کدر شدن آب به صورت محلی شود که می‌تواند بر شرایط زندگی موجودات آبرزی تأثیر بگذارد. تأثیرات بالقوه معدن‌کاری بر منابع آب عبارت‌اند از:

- تغییرات در هیدرولوژی
- تأثیرات بر آب‌های زیرزمینی و سطحی
- تغییرات در کیفیت آب، شامل کدر شدن آبراه‌ها و تأثیرات غیرمستقیم بر گیاهان و حیوانات
- تخلیه فاضلاب کنترل‌شده و تأثیرات تجمعی ناشی از آن
- افزایش کمبود آب در مناطق خشک
- خطرات مرتبط با آلودگی، زهکشی اسیدی معادن، حوادث سد و آبگیری
- تأثیرات و خطرات محلی بسته به حساسیت محیط دریافت‌کننده، چارچوب‌های نظارتی محلی و اهداف مرتبط با کیفیت آب متفاوت است (شکل ۵).



شکل ۵- تأثیرات بالقوه معدن‌کاری بر آب^۱ - معدن شن و ماسه، استان مازندران

پیام کلیدی: با افزایش رواناب، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، مصرف بی‌رویه و احتمال وقوع حوادث زیست‌محیطی، معادن تهدیدی جدی برای آب شرب، کشاورزی و اکوسیستم‌ها هستند.

^۱ ابری شدن آبراه‌ها به معنای کدر شدن و تشکیل یک لایه شبیه ابر در مایعات است. به‌طور کلی، ابری شدن در اثر سرد شدن روغن‌ها و سوخت‌های نفتی مشاهده می‌شود و نقطه ابری شدن، دمایی است که در آن این پدیده شروع به رخ دادن می‌کند.

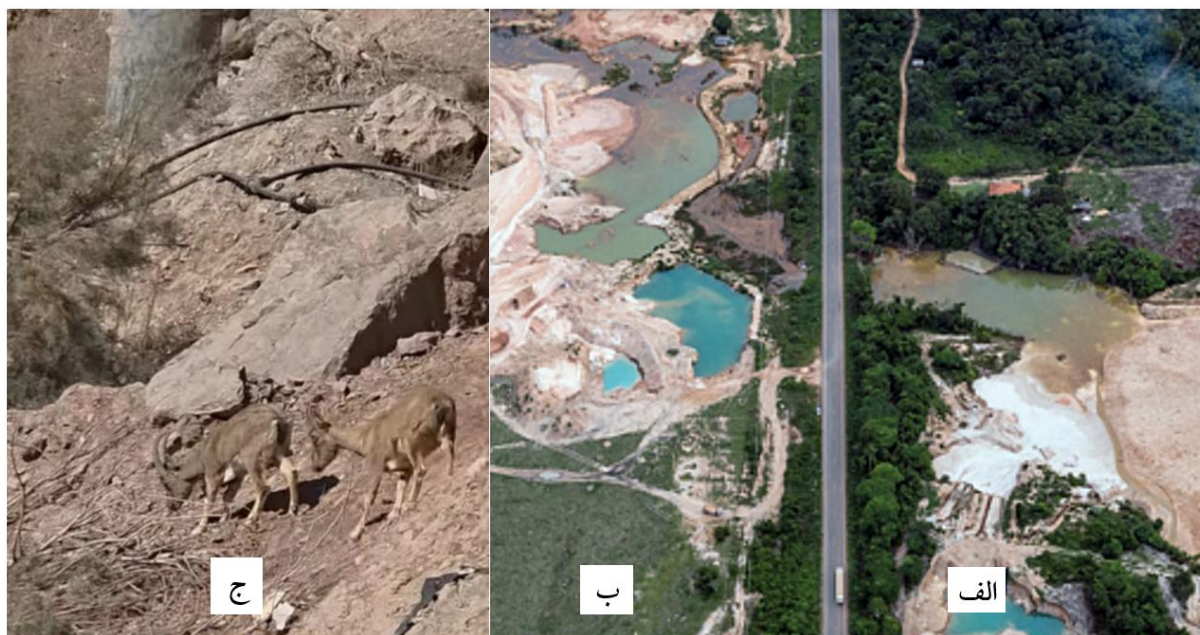
سایر اثرات بالقوه زیست‌محیطی ناشی از معدن‌کاری

اثرات زیست‌محیطی معدن شامل جنگل‌زدایی و اختلال در زمین در طول فعالیت‌های اکتشاف و استخراج است که بر تنوع زیستی و زیستگاه‌های حیات وحش تأثیر می‌گذارد. فرآیند معدن مواد زائد سمی تولید می‌کند که هوا و آب اطراف را آلوده می‌کند و به جوامع و حیات وحش وابسته به این منابع آسیب می‌رساند. همچنین، معدن با تولید سوخت‌های فسیلی که بزرگ‌ترین منتشرکننده گازهای گلخانه‌ای هستند، در تغییرات اقلیمی نقش دارد. سایر اثرات زیست‌محیطی معدن عبارتند از انتشار دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای، افزایش گردوغبار و کاهش کیفیت هوا، ایجاد سر و صدا، لرزش زمین، نور، بو، ایجاد تابش‌های الکترومغناطیسی (غیر از نور مرئی) یا رادیواکتیو و همچنین اثرات تجمعی ناشی از فعالیت‌های معدنی که می‌تواند به آسیب‌های زیست‌محیطی گسترده‌تری منجر شود.

پیام کلیدی: معدن‌کاری؛ سود امروز، تاوان فردا!

پیامدهای معدن‌کاری بر حیات وحش و اکوسیستم‌ها

پیامدهای منفی برای حیات وحش و اکوسیستم‌ها قبلاً ثبت شده است. تعداد ببرهای هندوچینی در منطقه بزرگ مکنونگ به دلیل قطعه‌قطعه شدن زیستگاه‌ها برای توسعه زیرساخت‌ها به شدت کاهش یافت و استخراج طلا در حوضه آمازون منجر به افزایش سطح جیوه در گونه‌های در معرض خطر مانند دلفین رودخانه توکوکسی شد (Krämer et al., 2023) (شکل ۶).



شکل ۶- تأثیرات غیرمستقیم معدن بر حیات وحش و اکوسیستم - الف و ب) قبل و بعد از معدن‌کاری در برزیل (ج) حضور کل و بزهای وحشی در عرصه‌های معدنی ایران، نمادی از تلاش جانوران برای سازگاری با محیط انسانی

پیام کلیدی: برای حفظ زیبایی و تعادل طبیعت، باید بر اجرای سخت‌گیرانه قوانین حفاظت از زیستگاه، ممنوعیت استفاده از مواد شیمیایی سمی در عملیات استخراج و حمایت از پروژه‌های بازیابی اکوسیستم اصرار ورزید.

تأثیرات اجتماعی و اقتصادی فعالیت‌های معدنی

توسعه سایت‌های معدنی در مقیاس بزرگ اغلب منجر به آوارگی جوامع محلی از سرزمین خود و اسکان مجدد در جاهای دیگر می‌شود. تخریب محیط زیست مرتبط با معدن نه تنها بر اکوسیستم روستاها، بلکه بر ساختار اجتماعی و اقتصادی آنها نیز تأثیر منفی می‌گذارد. تأثیرات اقتصادی عدم موفقیت برنامه‌های اسکان مجدد شامل کاهش درآمد خانوارها، افزایش نرخ بیکاری، افزایش هزینه‌های زندگی و کاهش سرمایه‌گذاری محلی می‌باشد. افزایش نارضایتی اجتماعی، افزایش مهاجرت، کاهش کیفیت زندگی، افزایش تنش‌های اجتماعی، کاهش انسجام اجتماعی از تأثیرات اجتماعی فعالیت‌های معدنی است.

پیام کلیدی: فعالیت‌های معدنی نباید به بهای آوارگی و فقر جوامع محلی تمام شود. اسکان مجدد باید داوطلبانه، عادلانه و با مشارکت کامل جوامع آسیب‌دیده انجام شود.

تأثیرات بالقوه اقتصادی و اشتغال

معدن‌کاری می‌تواند فرصت‌های شغلی ایجاد کند، اقتصاد را رونق دهد و سرمایه‌گذاری برای پروژه‌های توسعه محلی را فراهم کند. با این حال، عملیات معدنی که به حقوق بشر احترام نمی‌گذارند یا از محیط زیست محافظت نمی‌کنند، می‌توانند آسیب‌های قابل‌توجهی به جوامع اطراف وارد کنند.

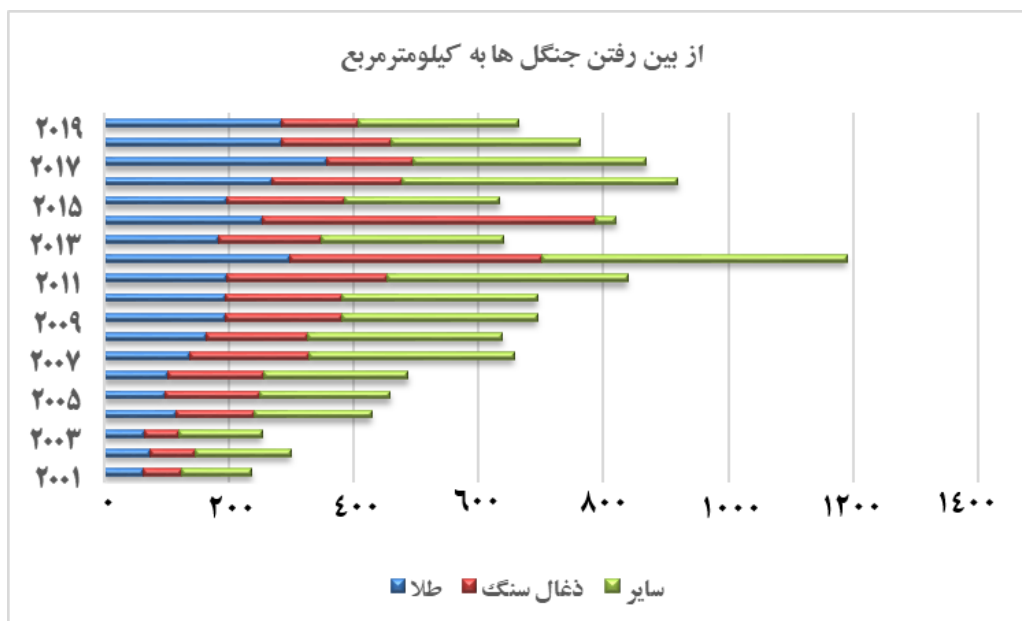
تغییرات در محیط اجتماعی - اقتصادی محلی

تأثیرات منفی معدن‌کاری زمانی تشدید می‌شود که با مردم محلی مشورت نشود یا اطلاعات شفافی در مورد معدن پیشنهادی به آنها داده نشود. معدن اغلب زمین‌ها و زندگی جوامع بومی را که نسل‌هاست در محل معدن پیشنهادی زندگی می‌کنند، مختل می‌کند. معدن می‌تواند جوامع محلی را هم به صورت مثبت و هم به صورت منفی تحت تأثیر قرار دهد. در حالی که تأثیرات مثبت مانند اشتغال و پروژه‌های توسعه اجتماعی مهم هستند، اما اثرات منفی بالقوه را جبران نمی‌کنند که شامل موارد زیر است:

- اجبار آنها به ترک خانه و زمین‌هایشان
 - جلوگیری از دسترسی آنها به زمین و آب پاک
 - تأثیر بر سلامت و معیشت آنها
 - ایجاد اختلاف در جوامع بر سر این که چه کسی از معدن سود می‌برد و چه کسی نمی‌برد.
 - تغییر پویایی اجتماعی یک جامعه
 - قرار دادن آنها در معرض آزار و اذیت توسط امنیت معدن یا دولت
- مزایای بالقوه‌ای که معدن برای یک جامعه به ارمغان می‌آورد، می‌تواند تضعیف شود، اگر پنهان‌کاری در مورد پرداخت مالیات معدن به دولت یا مزایای به اشتراک گذاشته‌شده در سطح محلی وجود داشته باشد.
- پیام کلیدی:** برای توسعه‌ای پایدار و عادلانه، فعالیت‌های معدن‌کاری باید با رضایت آزادانه، قبلی و آگاهانه مردم محلی انجام شود.

تغییرات اقلیمی ناشی از معدن‌کاری

پیامدهای سوختن و آزاد شدن این سوخت‌های فسیلی در جو زمین می‌تواند ویرانگر باشد. گازهای گلخانه‌ای تولیدشده در این فرآیند، لایه ازن را تحت تأثیر قرار می‌دهند و گرما را در جو زمین به دام می‌اندازند که عامل گرمایش جهانی است. به طرز تکان‌دهنده‌ای، بیش از یک‌سوم از کل جنگل‌زدایی‌های مرتبط با معدن‌کاری در بیست سال گذشته تنها در پنج سال گذشته رخ داده است (شکل ۷).



شکل ۷- از دست دادن جنگل‌های مرتبط با معدن بر اساس کالا، ۲۰۰۱-۲۰۱۹ (WU, 2022)

پیام کلیدی: معدن‌کاری به‌طور مستقیم و غیرمستقیم باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش ظرفیت جذب کربن توسط جنگل‌ها شده است.

خلاصه‌ای از اثرات و خطرات بالقوه اصلی

تأثیرات و خطرات بالقوه در جداول ۱ و ۲ خلاصه شده‌اند.

جدول ۱- اثرات بالقوه زیست‌محیطی معدن‌کاری

سایر	آب	زمین
آلودگی نوری	تغییرات در هیدرولوژی	تغییرات زمین، توپوگرافی و چشم‌انداز
کیفیت هوا، گرد و غبار و بو	تأثیرات آب‌های زیرزمینی و سطحی	فرسایش
آلودگی صوتی	تغییرات در کیفیت آب (مثلاً کدر شدن)	سنگ‌های باطله و باطله‌ها
ارتعاش	تخلیه فاضلاب کنترل‌شده و اثرات تجمعی آنها	تغییر پروفیل خاک و خطرات آلودگی
تأثیرات اقلیمی	کمبود فزاینده آب در مناطق خشک	تغییرات زیستگاه، تکه‌تکه شدن و از بین رفتن
تابش	خطرات آلودگی، زهکشی اسیدی معادن، حوادث سد، آبگیری	از بین رفتن پوشش گیاهی و جنگل‌زدایی
	اثرات تجمعی زیست‌محیطی	
	تغییرات و از بین رفتن تنوع زیستی	

جدول ۲- اثرات بالقوه اجتماعی - اقتصادی معدن‌کاری

منفی	مثبت
رقابت در استفاده از زمین و منابع	مالیات‌ها و حق امتیازها
تأثیرات منفی بر معیشت موجود	فرصت‌های اشتغال و پیمانکاری
ریسک‌های اقتصادی: وابستگی محلی، ورشکستگی، تأثیرات جهانی	فرصت‌های جدید تجاری و سرمایه‌گذاری
برداشت از ایمنی و امنیت، تأثیرات روانی	تأثیرات مثبت بر معیشت موجود (خدمات مهمان‌نوازی)
تأثیرات منفی مهاجرت به منطقه: قیمت‌ها	زیرساخت‌ها و خدمات جدید
تأثیرات ناهموار، خطر شکاف بین گروه‌ها، اختلافات و درگیری‌ها	احیای مناطق: افراد جدید، فعالیت‌های جدید

توصیه ترویجی

نکات عملی زیر، خلاصه‌ای از بهترین شیوه‌های بین‌المللی و توصیه‌های سیاستی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی استخراج است:

۱. حفاظت از محیط زیست و تنوع زیستی (اصل سلسله مراتب کاهش اثرات)
 - اجتناب قاطعانه: در مرحله اکتشاف، به‌طور کامل از مناطقی با تنوع زیستی بالا، ویژه یا اکوسیستم‌های حساس دوری کنید.
 - کاهش و حداقل سازی اثرات: در مناطقی که عملیات اجتناب‌ناپذیر است، تمام تلاش‌ها باید بر به حداقل رساندن ردپای عملیات بر هوا، آب و خاک متمرکز شود (مثلاً استفاده از آب بازیافتی برای کاهش فشار بر منابع آبی محلی).
 - احیاء و جبران خسارت: پس از اتمام عملیات، برنامه احیای اکوسیستم را طبق اصول (احیای طبیعی یا کشت مجدد هدفمند) اجرا کنید.
۲. حکمرانی، شفافیت و مسئولیت اجتماعی
 - نظارت مستمر و قانونی: دولت‌ها و نهادهای نظارتی باید مقررات سخت‌گیرانه‌ای برای حفاظت از منابع زیست‌محیطی در کلیه مراحل (اکتشاف، اجرا و اختتام) وضع و اجرا کنند.
 - شفافیت مالی و عملیاتی: شرکت‌های معدنی موظف‌اند تأثیرات پروژه‌های خود و درآمدهای دولت حاصل از آن را به‌صورت عمومی افشا کنند.
 - مشارکت جامعه محلی: اطمینان از مشاوره‌های مناسب و معنادار با جوامع محلی و احترام کامل به حقوق اساسی بشر در طول عمر پروژه، یک الزام اجتماعی - اقتصادی است.
۳. مسئولیت جهانی و زنجیره تأمین
 - مسئولیت مشترک در گذار انرژی: کشورهای صنعتی باید مسئولیت‌پذیری خود را در قبال تأمین مواد خام بپذیرند و اطمینان حاصل کنند که گذار انرژی (مانند خودروهای برقی) به قیمت تخریب محیط زیست و تضییع حقوق جوامع در کشورهای استخراج‌کننده تمام نشود.

فهرست منابع

- تقی‌ملایی، ی. ۱۴۰۴. گرد و غبار در غرب آسیا. انتشارات جهاد دانشگاهی، ۲۷۲ ص.
- سلیمانی مورچه خورتی، ا.، خانی، س. و مقصودی، ا. ۱۳۹۷. بررسی چالش‌های زیست محیطی و اجتماعی معدن بوکسیت تاش. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن، مطالعات زیربنایی، ۲۳ ص.
- مرادی، ز.، وهاب‌زاده کبریا، ق.، موسوی، س.ر. و حسینی بکانی، س.ع. ۱۴۰۲. تأثیر استخراج معادن شن و ماسه بر وضعیت اجتماعی، اکولوژیکی و اقتصادی حوضه آبریز خطیرکوه، مازندران. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۷ (۶۰): ۱-۱۰.
- García, G. and Rosique, G. 2025. Underlying Causes of Long-Term Environmental Pollution by Waste from an Abandoned Metal Mining District: When Legislative and Remediation Measures Are Ineffective. *Environments*, 12 (1), 7.
- Hilson, G. and McQuilken, J. 2020. Four decades of support for artisanal and small-scale mining in sub-Saharan Africa: A critical review. *The Extractive Industries and Society*, 7 (3): 915-929.
- Hosonuma, N., Herold, M., De sy, V., De Fries, R.S., Brockhaus, M., Verchot, L. Angelsen, A. and Romijn, E. 2012. An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries, *Environmental Research Letters*, 7 (4), 12p.
- Krämer, M., Kind-Rieper, T., Munayer, R., Giljum, S., Masselink, R., Van Ackern, P., ... and Rüttinger, L. 2023. *Extracted Forests: Unearthing the role of mining-related deforestation as a driver of global deforestation.* Institute for Ecological Economics.
- Levin, Estelle and ea al., 2020. How to bring about forest-smart mining: strategic entry points for institutional donors. World Bank, Executive Summary Report, 93p.
- Morrill, J. *et al.* 2020. Safety First: Guidelines for Responsible Mine Tailings Management, Earthworks and MiningWatch Canada. <https://miningwatch.ca/sites/default/files/safetyfirstmainreporten-final.pdf>
- Xiang, Y., Gong, J., Zhang, L., Zhang, M., Chen, J., Liang, H., Chen, Y., Fu, X., Su, R. and Luo, Y. 2025. Research Progress of Mine Ecological Restoration Technology. *Resources*, 14 (6), 100.